

Ю.Ж.Пукинский, Рашид Ислам*, Ю.В.Килиба

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЦТС-ТЕРФЕНОЛ

*Институт электронных и информационных систем НовГУ
Техасский университет, Арлингтон, США

Design and application of low-frequency magnetic field magnetoelectric sensors are considered. Physical principles of operation and calculation of low-frequency magnetic field magnetoelectric sensors parameters on the base of ferrite - piezoelectric composites are performed.

Введение

В современной технике существует немало различных объектов и устройств, работа которых основана на взаимодействии с магнитным полем, или же последнее используется в качестве управляющей среды. Влияние магнитных полей настолько велико, что весьма актуальны задачи по контролю магнитного поля, его изучению и эффективному применению, для чего и необходимы датчики магнитного поля. Широкое применение датчиков магнитного поля объясняется такими достоинствами, как возможность полной электрической развязки входных и выходных цепей аппаратуры, бесконтактное преобразование малых механических перемещений в электрические сигналы, детектирование величины и направления индукции магнитного поля, создание бесконтактных коммутаторов электрических цепей, бесконтактное измерение токов и напряжений.

Среди датчиков магнитного поля (сквиды, датчики Холла, магниторезистивные датчики, датчики Виганда и пр.), использующих различные физические эффекты, магнитоэлектрический датчик имеет значительные преимущества в оптимальном сочетании параметров чувствительности, энергопотребления, частоты измеряемых магнитных полей и наименьшей себестоимости в случае изготовления. Он обладает малыми массогабаритными параметрами и возможностью работы в пассивном режиме, измеряя параметры как постоянного, так и переменного магнитного поля, а также должен иметь стойкость к радиационному излучению. Низкочастотный датчик магнитного поля может быть использован во многих отраслях техники, в том числе и в медицинском оборудовании.

В статье рассматривается конструкция низкочастотного магнитоэлектрического датчика магнитного поля, методика его теоретического расчета и полученные практические результаты.

Магнитоэлектрический датчик магнитного поля

Манитоэлектрический (МЭ) датчик магнитного поля на МЭ композитах проектируются на основе

различных проявлений МЭ эффекта. Наиболее сильно МЭ эффект проявляется при электромеханическом резонансе, поскольку в композитах он связан с механическим взаимодействием пьезоэлектрической и магнитоэлектрической систем [1,2].

Конструктивно низкочастотный датчик магнитного поля на основе композиционного материала ЦТС-терфенол представляет собой диск ЦТС с нанесенными на него электродами. На выходной электрод нанесен слой терфенола (рис.1).

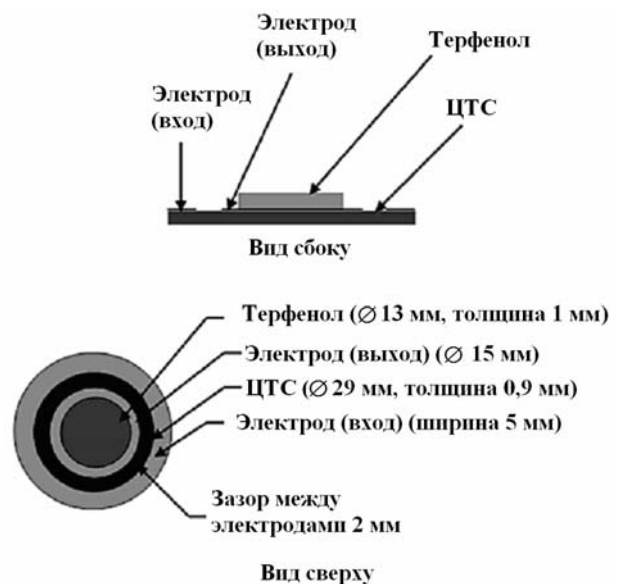


Рис.1. Конструкция датчика магнитного поля на основе композиционного материала ЦТС-терфенол

Рассмотрим продольную ориентацию электрического и магнитного полей (вдоль оси z). Экспериментальные измерения такой структуры проводились в области резонанса с целью получения максимального напряжения на выходе. Для измерения резонансных характеристик использовался анализатор сопротивления HP 4194A. Выходное напряжение структуры снималось с выхода цифрового осциллографа с переменным полем магнитного смещения постоянного тока измерителя Tektronix TDS 420A. Магнитное поле, возбуждаемое в образце, измерялось датчиком магнитного поля (магнитометр Alphalab Inc.). Полученные ре-

зультаты измерений представленного датчика магнитного поля свидетельствуют о его высокой чувствительности (рис.2).

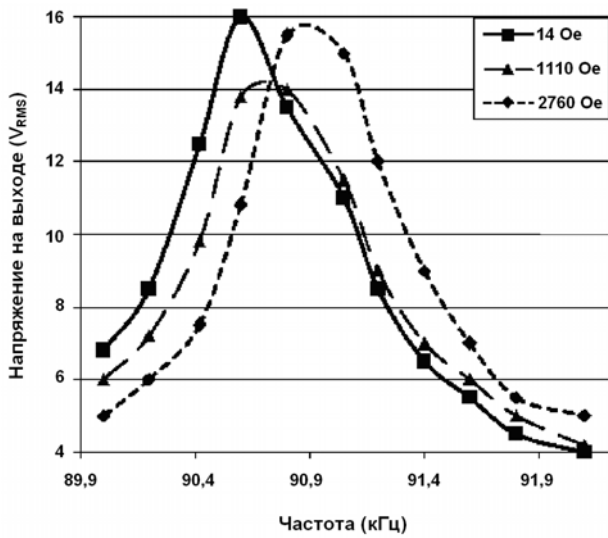


Рис.2. Зависимость напряжения на выходе от частоты для датчика магнитного поля на основе композиционного материала ЦТС-терфенол

Для теоретической оценки представленной конструкции воспользуемся методикой, описанной в [1,2]. Охарактеризуем двухслойную структуру ЦТС-терфенол следующими параметрами.

Пьезоэлектрическая фаза ЦТС:

пьезоэлектрические коэффициенты: ${}^p d_{31} = -175 \cdot 10^{-12}$ м/В, ${}^p d_{33} = -400 \cdot 10^{-12}$ м/В;
 коэффициенты податливости: ${}^p s_{11} = 15,3 \cdot 10^{-12}$ м²/Н, ${}^p s_{12} = -5 \cdot 10^{-12}$ м²/Н, ${}^p s_{13} = -7,22 \cdot 10^{-12}$ м²/Н, ${}^p s_{33} = 17,3 \cdot 10^{-12}$ м²/Н.

Магнитострикционная фаза терфенола:

пьезомагнитные коэффициенты: ${}^m q_{33} = 13,8 \cdot 10^{-9}$ м/А, ${}^m q_{31} = -9,4 \cdot 10^{-9}$ м/А;
 коэффициенты податливости: ${}^m s_{11} = 18 \cdot 10^{-12}$ м²/Н, ${}^m s_{12} = -5,9 \cdot 10^{-12}$ м²/Н.

Введем следующие обозначения: h — толщина композита; R — радиус диска; ${}^p \rho$ и ${}^m \rho$ — плотность магнитной и пьезоэлектрической фазы соответственно;

ϵ_{kn} — эффективная диэлектрическая проницаемость;

${}^p \nu = \frac{{}^p s_{12}}{{}^p s_{11}}$ — коэффициент Пуассона для пьезоэлек-

трика; ${}^m \nu = \frac{{}^m s_{12}}{{}^m s_{11}}$ — коэффициент Пуассона для маг-

нетика; β — коэффициент механической связи феррита и пьезоэлектрика; ω — угловая частота;

$K_p^2 = \frac{2{}^p d_{31}^2}{{}^p \epsilon_{31} {}^p s_{11} (1 - {}^p \nu)}$ — коэффициент электроме-

ханической связи при планарных колебаниях.

МЭ коэффициент по напряжению вычисляется из соотношения

$$\alpha_E = \frac{\Delta E}{\Delta H},$$

где ΔE — внешнее электрическое поле; ΔH — внешнее магнитное поле.

Для продольной ориентации электрического и магнитного полей выражение МЭ коэффициента по напряжению имеет вид [2]

$$\alpha_E = \frac{2\gamma\beta{}^p d_{31}{}^m q_{31}(1+{}^m \nu){}^p h}{(\gamma+\beta){}^p \epsilon_{33}^2 {}^p s_{11}(1-{}^p \nu)\Delta_A({}^m h+{}^p h)},$$

где $\gamma = \frac{{}^m h}{{}^p h} \frac{({}^p s_{11}(1-{}^p \nu^2))}{{}^m s_{11}(1-{}^m \nu^2)}$; $\Delta_A = \frac{(1-K_p^2)\Delta_{Jm}}{J_1({}^m \kappa)}$ —

$$-K_p^2(1+{}^p \nu) \left(\frac{\beta(1-2\beta)}{(\gamma+\beta)} - \frac{(1-\beta)\Delta_{Jm}J_1({}^p \kappa)}{\Delta_{Jp}J_1({}^m \kappa)} \right); \Delta_{Jm} = {}^m \kappa J_0({}^m \kappa) - J_1({}^m \kappa) \left(1 - \frac{\gamma{}^m \nu + \beta{}^p \nu}{\gamma + \beta} \right); \Delta_{Jp} = {}^p \kappa J_0({}^p \kappa) - (1-{}^p \nu)J_1({}^p \kappa); {}^m \kappa = {}^m kR; {}^p \kappa = {}^p kR; {}^m k = \sqrt{{}^m \rho {}^m s_{11} (1-{}^m \nu^2)} \omega; {}^p k = \sqrt{{}^p \rho {}^p s_{11} (1-{}^p \nu^2)} \omega.$$

Сопоставление рассчитанных таким образом теоретических значений и практических результатов приведены на рис.3 и 4. При этом использовались следующие значения параметров для компонентов композита: ${}^m \mu_{33}/\mu_0 = 5$, ${}^p \epsilon_{33}/\epsilon_0 = 1750$, ${}^m \epsilon_{33}/\epsilon_0 = 6$.

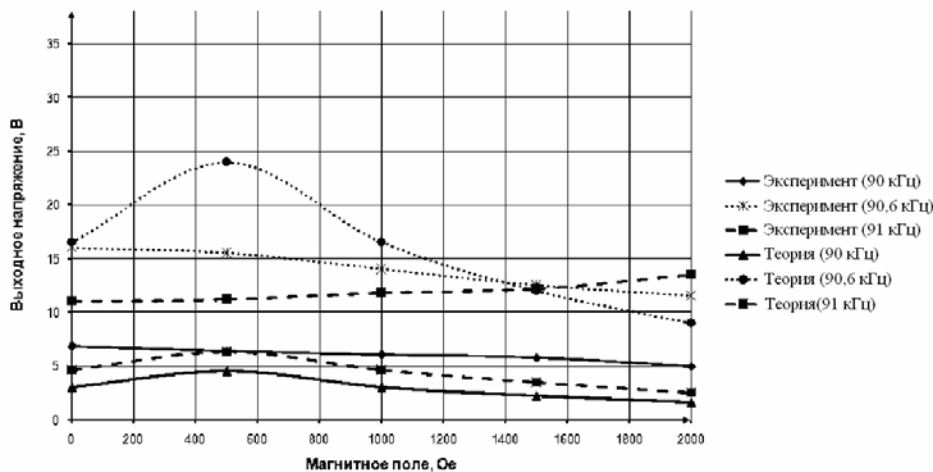


Рис.3. Сопоставление теоретической и практической зависимостей напряжения на выходе от величины постоянного подмагничивающего магнитного поля

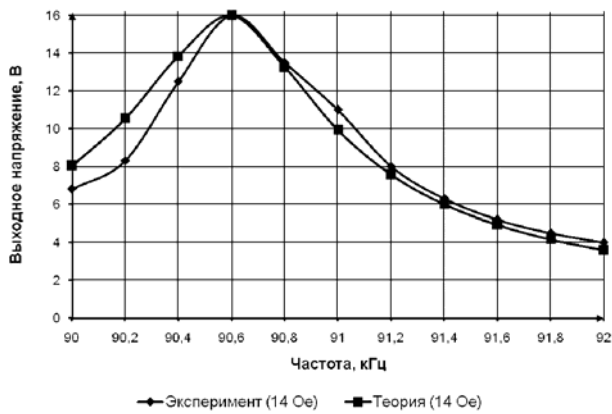


Рис.4. Сопоставление теоретической и практической зависимостей напряжения на выходе от частоты

Полученные теоретические результаты согласуются с результатами измерения датчика магнитного поля. Расхождения теоретической зависимости и измеренных результатов свидетельствуют о наличии в образце потерь, связанных с коэффициентом механической связи ЦТС-терфенол, и неточным знанием полевой зависимости пьезомагнитоэлектрического коэффициента.

Заключение

Предложена конструкция низкочастотного магнитоэлектрического датчика магнитного поля на основе композиционных феррит-пьезоэлектрических материалов. Проведен расчет характеристик такого датчика на основе композиционного материала ЦТС-терфенол.

Подобные датчики, обладая сверхчувствительностью при комнатной температуре, миниатюрными размерами и минимальной потребляемой мощностью открывают огромные перспективы их использованию в микросборках, робототехнике и других областях техники, где необходимо регистрировать слабые магнитные поля.

1. Bichurin M.I., Petrov V.M., Srinivasan G. // *Ferroelectrics*. 2002. V.280. P.165-175.
2. Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах / М.И.Бичурин, В.М.Петров, Д.А.Филиппов, Г.Сринивасан; НовГУ им. Ярослава Мудрого. В. Новгород, 2005. 226 с.